

INCIDENCE ET REGULATION NATURELLE DE LA CHENILLE MINEUSE DE L'EPI DE MIL, *Heliocheilus albipunctella* DE JOANNIS (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE) A BAMBEY DANS LE BASSIN ARACHIDIER AU SENEGAL.

C. THIAW^{1*}, T. BREVAULT², N.F. DIALLO¹, A. SOW¹, D. NGOM¹, V. SOTI³, I. SARR¹, G.S. DOREGO¹, M. DIOP¹, N. CISSE¹, M. SEMBENE⁴

¹-Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), BP 3120, Dakar Sénégal

²-CIRAD, UPRAIDA, Montpellier, France

³-CIRAD, UR AGR'S, Montpellier, France

⁴-Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Biologie Animale, Dakar 5005

*Corresponding auteur : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles - Centre National de Recherches Agronomiques (ISRA-CNRA),

BP 53, Bambey, Sénégal. Email : thiacheikh@hotmail.com; Tél : (+221) 77560 21 99

RESUME

Au Sénégal, la mineuse de l'épi, *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera, Noctuidae) a commencé à causer des dégâts dans les cultures de mil suite à une longue période de sécheresse au début des années 70. Le suivi d'un réseau de 45 parcelles de producteurs à Bambey en 2013, a permis d'évaluer la situation du ravageur : abondance relative (œuf et larve), parasitisme associé, potentiel de régulation naturelle et pertes de rendement liées aux dégâts. Les résultats ont montré une distribution très hétérogène du ravageur dans la zone avec des moyennes d'infestation des épis en œufs de 40 % et en larves 76 %. Un taux moyen de parasitisme des œufs par *Trichogrammatoidea sp* estimé à 2 % est noté (n = 2281 œufs). Le parasitisme larvaire est dominé par des cocons d'endoparasitoïdes de la famille des Ichneumonidae (8,6 %), des larves de Tachinidae (5,2 %) et des morphotypes non encore identifiés (4,6 %). Une faible mortalité larvaire due au *Bracon sp.* (1,5 %, n = 1567 larves) est observée. Ce faible taux de parasitisme, comparé au potentiel réel de la régulation naturelle observée (59 %, n = 45 parcelles) montre l'importance probable des ennemis naturels dans le contrôle du ravageur. Les pertes en grains sont estimées à 10 %.

Mots clés : *Heliocheilus albipunctella*, mil, régulation écologique, ennemis naturels, dégât.

ABSTRACT

INCIDENCE AND NATURAL REGULATION OF THE PEARL MILLET HEAD MINER *Heliocheilus albipunctella* DE JOANNIS (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE) AT BAMBEY IN THE GROUNDNUT BASIN IN SENEGAL

In Senegal head miner, Heliocheilus albipunctella de Joannis is a major constraint to increased production of pearl millet. The insect began to cause damage to millet crops (up to 85 % loss of grain yield) following a long drought in the early 70 s. Monitoring a network of 45 producers farms in Bambey at 2013, helped to review the status of the pest; relative abundance (egg and larva), parasitism associated with the potential for natural regulation and damage related yield losses. Results showed a rather heterogeneous distribution of the pest in the area. The average infestation of millet by eggs and larvae stage was respectively 40 % and 76 %. A low average rate of 2 % of eggs parasitism by Trichogrammatoidea sp was noted (n = 2281 eggs). The larval parasitism is dominated by cocoons endoparasitoids belonging to the family of Ichneumonidae (8.6 %), the Tachinidae larvae (5.2 %) and unidentified species (4.6 %). A low average mortality rate due to Bracon sp (1.5 %, n = 1567 larvae) was observed. These low rate of parasitism, compared to the real potential of natural regulation

(59 %, $n = 45$ plots) shows the likely importance of predators in regulating pest. The percentage of grain loss was estimated to 10 %.

Key words : *Heliocheilus albipunctella* ; pearl millet ; natural regulation ; enemies ; damage

INTRODUCTION

Le mil (*Pennisetum glaucum* (Leeke) R.Br.) constitue de loin la culture et l'aliment de base le plus important pour la population rurale en Afrique sub-saharienne. Malgré son importance, les rendements restent toujours faibles (0,5 à 0,6 t/ha) et résultent de différentes contraintes biotiques notamment les arthropodes (chenilles mineuses de la chandelle, foreurs de tiges, diptères ravageurs, coléoptères, iules), mais également des maladies (mildiou, charbon, ergot), de la compétition avec les mauvaises herbes (*Striga spp.*), des oiseaux granivores, des rongeurs nuisibles. A ces contraintes biotiques s'ajoutent des contraintes abiotiques comme les déficits hydriques récurrents, l'épuisement progressif des sols, les mauvaises pratiques culturales et le manque d'encadrement des producteurs (Ndiaye et al., 2005 ; Dabre, 2008).

Au Sénégal, la mineuse de l'épi, *Heliocheilus albipunctella* de Joannis, représente une contrainte majeure à l'intensification de la production de mil (Youm et Owusu, 1998 ; Baoua et al., 2009), et donc une menace pour la sécurité alimentaire. L'insecte a commencé à causer des dégâts dans les cultures de mil (jusqu'à 85 % de perte de rendement en grains) suite à une longue période de sécheresse au début des années 70 (Vercambre, 1978).

Pour réduire l'impact de ces insectes et accroître la productivité du mil, des méthodes de lutte chimique, agronomique (culturales et variétale) et biologique ont été élaborées. Il existe peu de pratiques culturales efficaces contre la mineuse de l'épi et peu de succès dans la sélection variétale pour la tolérance à *H. albipunctella*. Par ailleurs, des effets négatifs sont causés par l'utilisation des produits chimiques. Par conséquent, la lutte biologique apparaît comme une alternative qui suscite beaucoup d'intérêt. Elle repose cependant sur une bonne connaissance des différents ennemis naturels du ravageur, de leur cycle de vie et de leur réponse aux modifications de l'environnement (Payne et al., 2011). La mise en œuvre de telles stratégies nécessite une meilleure connaissance des relations entre la biodiversité et les processus écologiques de régulation associés. Seulement, très peu d'informations sont

disponibles concernant les services que la biodiversité peut fournir aux populations humaines pour la production agricole. La présence des systèmes agroforestiers naturels dans les zones semi-arides tropicales de l'Afrique de l'Ouest, à travers leurs rôles avérés dans la fertilité des sols (Buttoud, 1994 ; Peltier, 1996 ; Millevilles, 2007), peuvent être considérés comme une véritable opportunité. Il est donc important de savoir que les systèmes agroforestiers (SAF) peuvent ainsi jouer un rôle de source ou de relais trophique pour les populations de bioagresseurs ou augmenter l'efficacité du contrôle biologique en offrant aux populations d'ennemis naturels des ressources (hôtes alternatifs, pollen et nectar, refuge) en particulier pendant la saison sèche (Chaplin-Kramer et Kremen, 2012 ; Burel et al., 2013 ; Monteiro et al., 2013 ; Veres et al., 2013).

Cette étude vise à évaluer l'abondance et la distribution spatiale des populations d'*H. albipunctella*, le parasitisme associé (œufs et larves) par le suivi d'un réseau de 45 parcelles de producteurs à Bambey au cours de la campagne agricole 2013.

MATERIEL ET METHODES

ZONE D'ETUDE

L'étude a été réalisée sur un territoire du bassin arachidier, de 20*20 km, centré sur le village de Ndangalma, dans le département de Bambey (14° 42' de latitude Nord et 16°28' de longitude Ouest). Ce territoire présente des paysages fortement simplifiés par la monoculture mil-arachide et l'absence de jachère, mais dans lesquels subsistent des parcs arborés plus ou moins denses à base de *Faidherbia albida*. Il est caractérisé par un climat sahélo-soudanien et une saison de pluies allant de juillet à octobre (400 - 500 mm).

SELECTION DES PARCELLES D'OBSERVATION

Un plan d'échantillonnage des parcelles (45 points) a été d'abord élaboré par traitement préliminaire d'une image satellite Très Haute Résolution (THR) de la zone sur la base

d'indices paysagers (densité en mil, distance au village, densité de la végétation naturelle) de Billand *et al.* (2013). Ce traitement d'image satellite THR a permis d'élaborer la carte d'occupation du sol de la zone d'étude et le plan d'échantillonnage le suivi et la collecte des

données entomologiques (Figure 1).

A partir des points proposés, 45 parcelles de mil ont été sélectionnées avec leurs coordonnées géographiques. Les données relatives au village, au nom du producteur et à ses coordonnées ont été notées.

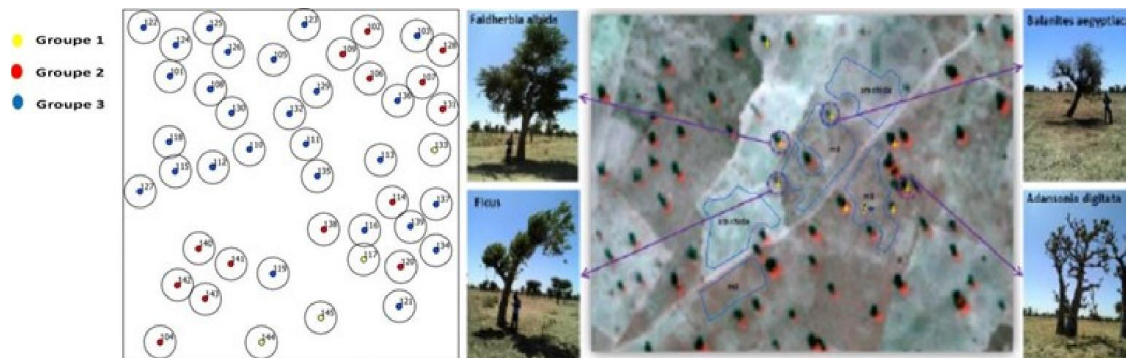


Figure 1 : Plan d'échantillonnage des parcelles d'étude et cartographie de l'occupation du sol des sites
Study Plot Sampling Plan and Site Land Use Mapping

COLLECTE DES DONNEES DE TERRAIN ET SUIVI DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE

Les données collectées concernent la composition du paysage (densité en mil en année *n* et *n-1*, densité du parc arboré), les pratiques culturales effectuées dans chaque parcelle, l'état de la culture, l'abondance-répartition et les dégâts du ravageur ainsi que sa régulation naturelle.

Les données collectées concernent en particulier à l'effet du stade de floraison des épis et de l'état de la culture (date de levée, densité etc.) sur la distribution des pontes, à l'impact et au profil des ennemis naturels (richesse spécifique, abondance relative, etc.) impliqués dans la régulation écologique des populations du ravageur ainsi qu'à l'importance des dégâts et pertes en grain sur les épis de mil bord champ.

SUIVI DES PONTES AU CHAMP ET DU PARASITISME OOPHAGE

Les observations ont été réalisées sur cinquante (50) épis par parcelle au début de l'épiaison. Les épis ont été tirés au hasard au niveau du poquet. Au total 2250 épis ont été observés. L'observation consiste à dénombrer les œufs en parcourant la surface de l'épi entre les soies involucrales et la glume, ou sur le rachis de l'épi. Le stade de préférence de ponte (initiation florale,

floraison femelle et floraison mâle), la longueur et le diamètre de l'épi ont également été enregistrés.

Pour étudier le taux de parasitisme associé au stade embryonnaire du ravageur, 15 à plus de 90 œufs ont été collectés par parcelle. Au laboratoire, les œufs non abîmés ont été triés sous loupe binoculaire puis incubés dans des piluliers à température ambiante. Au total, 2821 œufs ont été suivis pour l'ensemble des 45 parcelles. Après éclosion complète des larves, les piluliers ont été mis dans le congélateur pendant 24 heures avant lecture sous loupe binoculaire. Après comptage, les larves néonates ou les parasitoïdes issus des œufs sont conservés dans un tube Eppendorf (1,5 mL) contenant de l'alcool 95°.

SUIVI DES INFESTATIONS LARVAIRES ET DU PARASITISME

Cinquante (50) épis par parcelle ont été observés 18 jours après le début de l'épiaison, selon le même plan d'échantillonnage que pour le suivi des œufs. Le stade (laiteux, pâteux ou mature) de l'épi et sa longueur sont notés. Le nombre de larves ainsi que leur état (vivante, morte, ou parasitée) ont été notés ; en cas de dégâts visibles et en l'absence de larves, le nombre de galeries est enregistré. Le nombre de larves d'autres espèces de Lépidoptères comme *H. armigera* et *Massalia* sp. a également été relevé.

Un suivi au laboratoire des larves récoltées sur des épis infestés au niveau de chaque parcelle a été effectué pour mesurer l'importance du parasitisme. Pour ce faire, 10 épis infestés par des larves de *H. albipunctella* ont été collectés sur chaque parcelle d'observation et soigneusement gardés dans deux sacs en tissu Malikane (40 cm*40 cm). Une fois au laboratoire, vingt larves sont prélevées et réparties sur quatre épis non attaqués (5 larves par épi). Les quatre épis sont conservés dans un bocal de 5 litres contenant un lit de sable qui facilite la nymphose des larves. Chaque bocal a été couvert d'un morceau de tissu à gaz pour faciliter leur aération et empêcher les parasitoïdes de s'échapper. Le stade (L_1 , L_2 , L_3 , L_4) et l'état initial (vivante, morte, parasitée ou présence de cocon) de chaque larve ont été notés sur la fiche labo larve. Des suivis réguliers (3 jours d'intervalle) ont été faits jusqu'à ce qu'il ne reste plus de larves sur les épis. Au total, 1621 larves ont été suivies selon cette méthode.

Lors du diagnostic des épis, les larves mortes et parasitées sont isolées dans des piluliers avec le numéro de la parcelle inscrit au-dessus. Tous insectes volants se trouvant dans le bocal ont été récoltés grâce à un aspirateur mécanique. Ils ont ensuite été conservés dans des tubes Eppendorf contenant de l'alcool 95° avec le numéro de la parcelle et de la boîte pour une identification ultérieure. Lorsqu'il n'y a plus de larves sur les épis, un tamisage du sol est réalisé pour récupérer les chrysalides, les éventuels cocons et les larves mortes. Les chrysalides récoltées ont été placées dans les boîtes de Pétri avec au préalable un morceau de papier filtre.

ESTIMATION DE L'IMPACT DE LA REGULATION NATURELLE

Le dispositif comprend trois modalités : (M) épis infestés par des œufs et protégés à l'aide d'un manchon transparent à mailles fines, (T1) épis infestés en œufs et non protégés, et (T0) épis non infestés (les œufs observés sont enlevés) et non protégés. Les épis au stade initiation florale ont été choisis. Au total, 540 épis ont été suivis sur l'ensemble des 45 parcelles, avec un épi pour chaque modalité sur 2 ou 3 poquets voisins et 4 répétitions dans chaque parcelle. Un comptage des larves sur chaque épi a été réalisé 18 jours après la pose du manchon.

L'estimation de l'impact du contrôle biologique a été faite à l'aide de l'index BSI (Biocontrol

Service Index) utilisé par Woltz et al. (2012). Le BSI peut être défini comme étant la capacité des ennemis naturels à contrôler la population du ravageur (Chaplin-Kramer et Kremen, 2012). Les valeurs de BSI varient de 0 à 1, si BSI = 1 cela signifie une élimination totale du ravageur par contre si la valeur de BSI = 0 dans ce cas il y'a absence totale de contrôle.

Le BSI standard est calculé comme étant la différence entre le nombre d'individus dans la modalité M et la modalité T1, le tout divisé par le nombre d'individus dans la modalité M.

$$BSI = \frac{(M - T1)}{M} \quad (a)$$

Cet indice sous-estime souvent l'importance du contrôle biologique car il ne prend pas en compte l'occurrence de nouvelles pontes sur les épis non protégés. La mesure du nombre d'individus dans le témoin (T0) permet de corriger le BSI.

$$BSI_{\text{corrigé}}^1 = \frac{[M - (T1 - T0)]}{M} \quad (b)$$

Compte tenu de l'incertitude sur l'absence d'œuf sur les épis T0 au début de l'expérience, le poids du coefficient de correction est divisé par 3.

$$BSI_{\text{corrigé}}^2 = \frac{[M - (T1 - T0/3)]}{M} \quad (c)$$

ESTIMATION DES DOMMAGES

L'estimation des dommages dus à la mineuse de l'épi a été réalisée sur la base de méthodes de calcul utilisées par Sow (2014) et Bayo (2015) et reposant sur l'étude des relations allométriques entre poids en grains et surface développée de l'épi d'une part et pourcentage de surface de galerie et pourcentage de perte en grains d'autre part.

L'équation (d) permet de déterminer le poids de grains potentiel de l'épi :

(d) Poids grain épi potentiel = $y_1 = ax + b$; avec x = surface développée de l'épi.

Surface développée de l'épi = Longueur de l'épi x Diamètre de l'épi

L'équation (e) permet d'estimer le taux de perte en grains :

(e) perte en grains estimée en % = $y_2 = ax$;
avec x = % surface de la galerie sur l'épi.

x = % surface galerie =

$$\frac{\text{Longueur totale des galeries} \times \text{Largeur moyenne des galeries}}{\text{surface de l'épi}} \times 100$$

ANALYSES STATISTIQUES

Les données collectées ont été saisies à l'aide d'une maquette avec le tableur EXCEL puis présentées sous forme de tableaux ou de graphiques. Les analyses statistiques ont été effectuées avec les logiciels XLSAT version 6.1.9 et Statview. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectué pour la comparaison des moyennes du nombre d'œufs en fonction des stades de floraison des épis.

RESULTATS

ABONDANCE-REPARTITION DES ŒUFS ET DU PARASITISME ASSOCIE

Tableau 1 : Ponte de *H. albipunctella* et parasitisme associé aux œufs

H. albipunctella laying and eggs parasitism

Paramètres calculés	Minimum	Moyenne/ET	Maximum	N
Nombre d'œufs par épi	0,18	1,77	5,26	2250
Fréquence d'épis infestés (%)	12	40 ± 1,3	78	2250
Taux d'éclosion des œufs (%)	38	70 ± 0,1	88	2821
Taux de parasitisme des œufs (%)	0	2 ± 0,04	20	2821

Suivi des infestations en œufs

Le suivi des pontes de *H. albipunctella*, sur un total de 2250 échantillons (50 épis par parcelles) observés au stade épiaison (du 27 août au 6 septembre 2013), montre une bonne présence du ravageur dans la zone. En moyenne, 40 % des épis d'une parcelle sont infestés avec une variabilité importante entre parcelles de 12 à 78 % (Tableau 1, Figure 2). Cette capacité de ponte chez les femelles de *H. albipunctella* ne semble pas liée à la densité des poquets mais influencée par le stade phénologique de la plante hôte. Elle a lieu au stade de floraison des épis, avec une préférence de ponte en 2013 nettement significative pour les épis à initiation florale ($2,02 \pm 0,23$ œufs) par rapport aux épis à floraison femelle ($1,55 \pm 0,18$ œufs) et mâle ($0,97 \pm 0,22$ œufs).

Il y a davantage d'œufs sur les épis des parcelles de semis tardif (2,4 œufs/épis au 10 juillet 2013) que sur ceux des parcelles de semis précoce (1,3 œufs/épi au 03 juillet 2013).

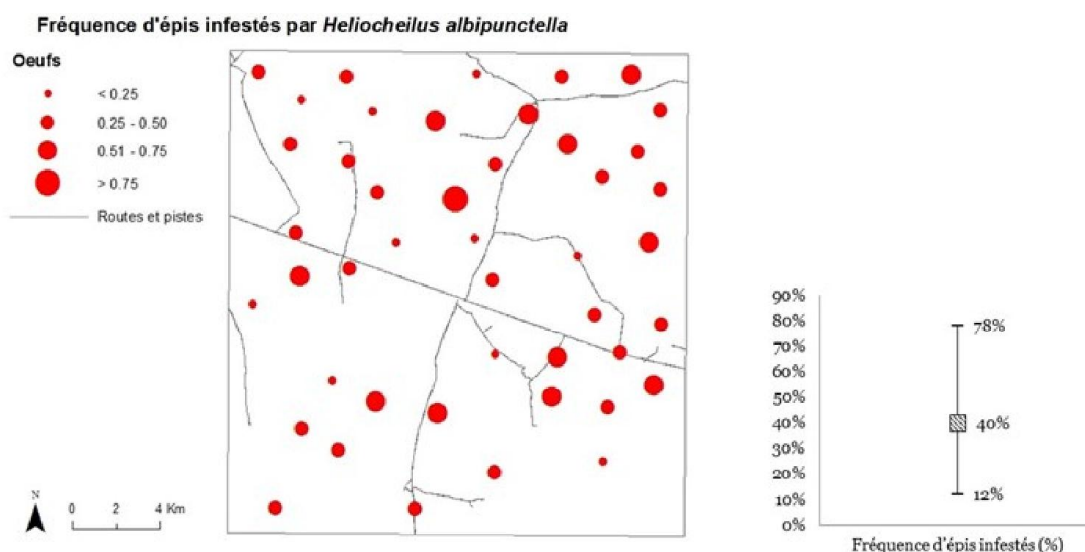


Figure 2 : Carte de distribution du nombre moyen d'œufs du ravageur par épi et par parcelle

Distribution map of the average number of eggs of the pest per pearl millet and per plot

Parasitisme des œufs de *H. albipunctella*

La Figure 3 montre que le taux de parasitisme des œufs s'élève en moyenne à 2 % sur un total d'échantillons de 2821 œufs (8 - 122 œufs par parcelle) suivis au laboratoire, avec une forte variabilité entre parcelles (0 - 20 %). Un taux

moyen d'éclosion de 70 % est noté avec une variabilité inter parcellaire allant de 38 à 88 %. Les parasitoïdes adultes émergeant des œufs parasités appartiennent à la famille des *Trichogrammatidae*. Ils ont été conservés dans l'alcool 96° et feront l'objet d'une identification plus précise de l'espèce sur le plan morpho-métrique et génétique.

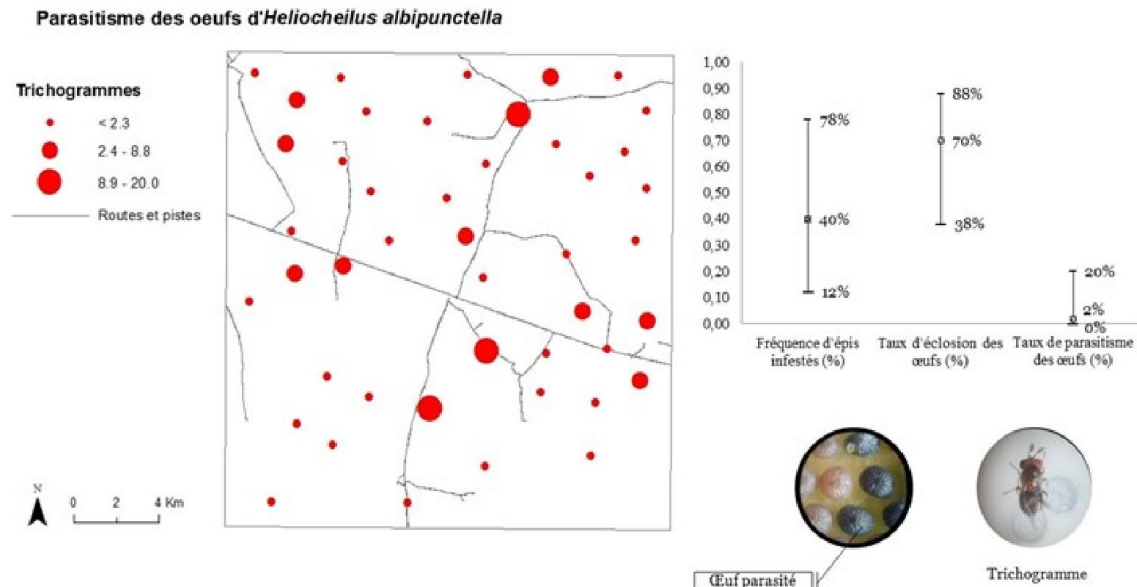


Figure 3 : Carte de distribution du taux de parasitisme des œufs

Distribution map of the egg parasitism rate

DISTRIBUTION SPATIALE DES INFESTATIONS LARVAIRES ET DU PARASITISME ASSOCIE

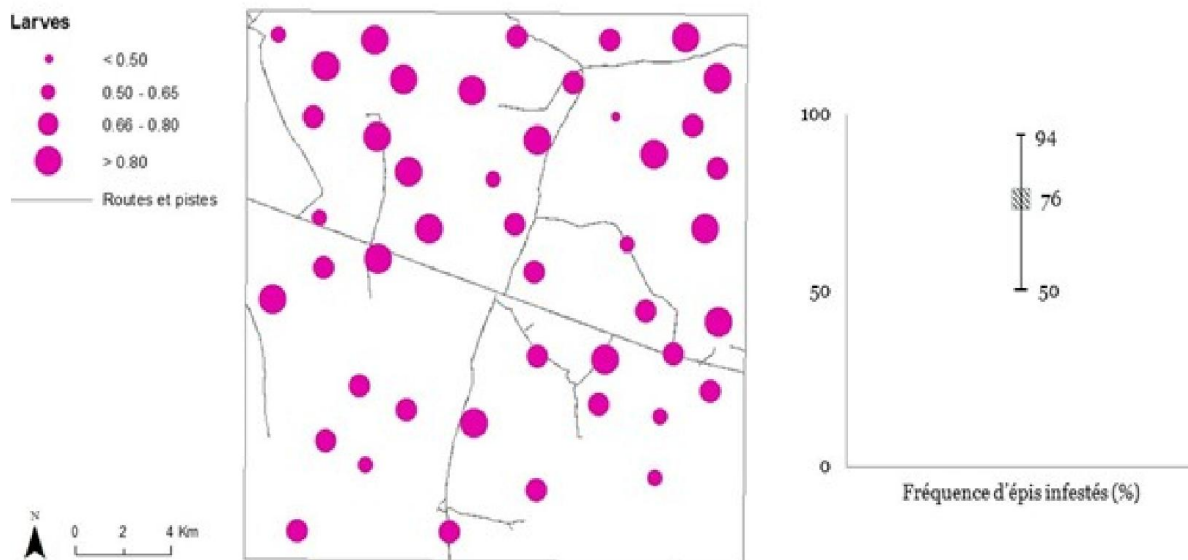
Suivi des infestations larvaires au champ

Les résultats de suivi des infestations en larves d'*H. albipunctella* de 45 parcelles (50 épis par parcelle) observés du stade laitieux au stade de

maturité physiologique, montre une distribution intra et interparcellaire assez hétérogène des attaques larvaires dans la zone (Figure 4). En moyenne, 76 % des épis d'une parcelle sont infestés avec une variabilité importante entre parcelles qui varie de 50 à 94 %. D'autres espèces de chenilles appartenant à la famille des Noctuidae (*H. armigera* et *Massalia sp*) ont été identifiées (Tableau 2 et Figure 4).

Tableau 2 : Suivi des infestations larvaires et du parasitisme associé*Monitoring of larval infestations and associated parasitism*

Paramètres calculés	Minimum	Moyenne	Maximum	N
Nombre de larves par épi	0,52	1,60	3,66	2250
Fréquence d'épis infestés	0,50	0,76	0,94	2250
Nombre de larves d' <i>H. armigera</i> par épi	0	0,04	1	2250
Nombre de larves <i>Massalia</i> sp. par épi	0	0,04	1	2250
Taux de nymphose des larves	0,05	0,34	0,58	506
Taux d'éclosion des adultes	0	0,03	0,08	14
Taux de parasitisme des larves en %	0	19	94	1567

Fréquence d'épis infestés par *Heliocheilus albipunctella***Figure 4 :** Carte de répartition spatiale de la fréquence d'épis infestés par des larves d'*Heliocheilus albipunctella*. (min < moy < max)

Spatial distribution map of the frequency of pearl millet infested by Heliocheilus albipunctella larvae. (Min < mean < max)

Parasitisme des larves *H. albipunctella*

Pour déterminer le taux de parasitisme larvophage, un échantillon de 1567 larves a été incubé et contrôlé au laboratoire. La Figure 5 montre que le taux de parasitisme moyen des larves s'élève à 18 % et varie de 0 à 82 % selon les parcelles. Les résultats ont révélé également un taux de nymphose moyenne de 34 % (5 -

58 %) et un taux d'éclosion des adultes d'environ 3 % sur un total de 506 chrysalides récupérés après tamisage. Au total, 202 espèces parasitoïdes ont été identifiées sur les larves lors des suivis au laboratoire, comprenant entre autres des Braconidae (5,2 %), des Ichneu-monidae (8,6 %) et des morphotypes de familles non encore déterminées (4,6 %).

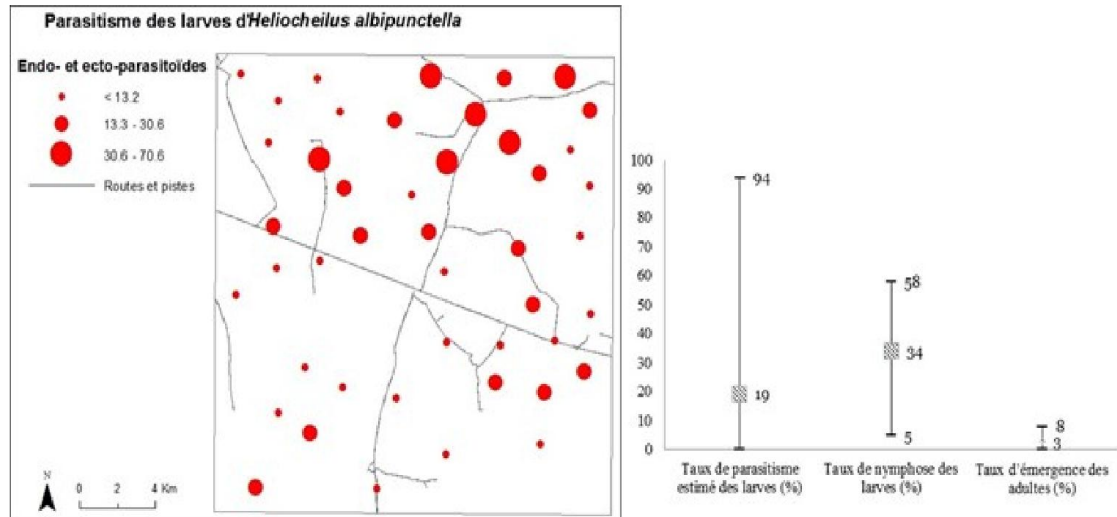


Figure 5 : Suivi du parasitisme larvaire (Carte de distribution du parasitisme des larves et les rapports entre taux de parasitisme, nymphose et émergence d'adultes).

Monitoring of larval parasitism (Distribution map of larval parasitism and the relationships between parasitism, pupation and emergence of adults)

Distribution spatiale de la régulation naturelle (BSI)

Le suivi de 540 épis (12 épis par parcelle soit 4 épis pour chaque modalité) a permis de

déterminer l'importance de la régulation naturelle des œufs et des larves d'*H. albipunctella*. La Figure 6 indique un taux moyen de régulation naturelle de l'ordre de 59 % avec une variabilité entre parcelles qui varie de 0 à 99 %.

- *Véritable potentielle de régulation naturelle...*

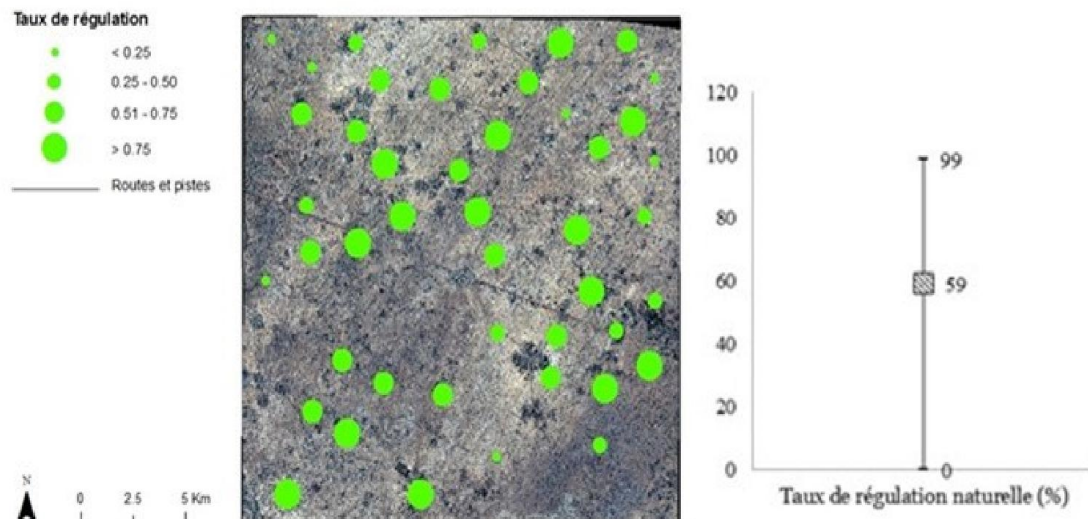


Figure 6 : Carte de distribution du taux de régulation naturel (min, moy et max)

Distribution map of the natural control rate (min, mean and max)

Analyse de corrélation

La fréquence des épis infestés par les larves d'*H. albipunctella* varie en fonction de la composition en mil du paysage (p-value = 0,001) d'une part (Figure 7A) et d'autre part selon la distance au village (p-value = 0,009). Les parcelles les plus proches des villages sont les moins infestées (Figure 7B). L'abondance d'œufs par épi a beaucoup varié selon les parcelles avec

une distribution très hétérogène. Ceci a été montré par l'existence de corrélation entre l'effet de précocité et la distribution des œufs chez la femelle *H. albipunctella* (Figure 7C). La Figure 7D révèle qu'il existe également un effet de la densité de végétation naturelle en fonction du taux de régulation naturelle observé dans les 45 parcelles d'étude. L'analyse statistique donne une p-value égale à 0,001.

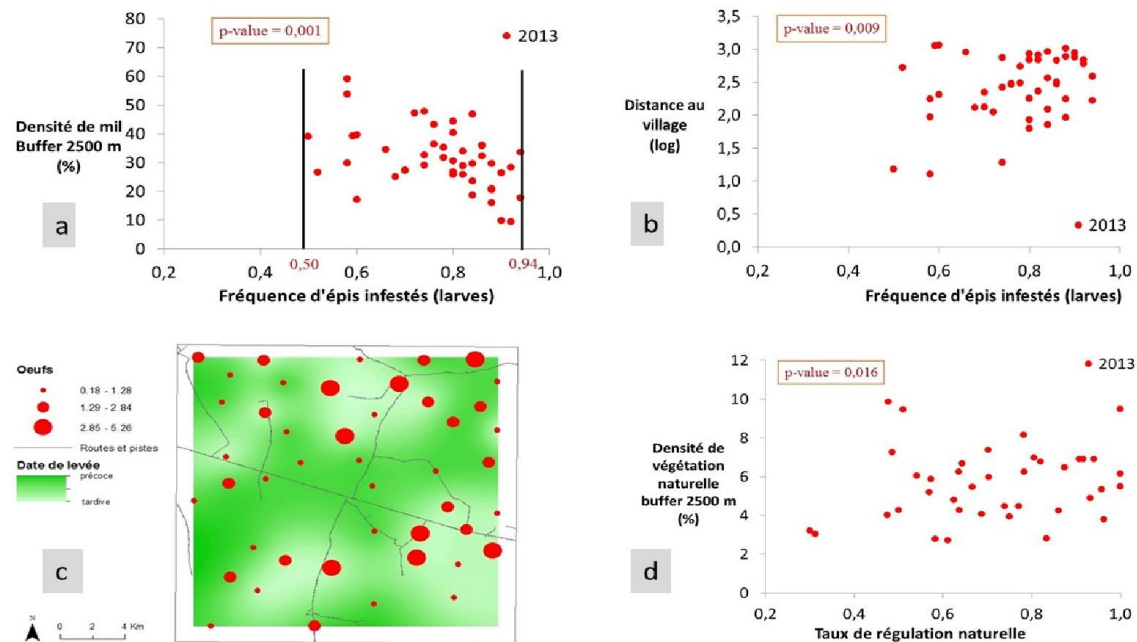


Figure 7 : Résultats sur l'analyse de corrélation : **A.** Effet de la composition en mil du paysage en fonction de la fréquence d'épis infestés en larves ; **B.** Effet de la distance au village en fonction de la fréquence des épis infestés (larves) ; **C.** Effet de précocité en fonction de la distribution de la ponte moyenne par épi et par parcelle ; **D.** Effet de la densité de végétation naturelle en fonction du potentiel de régulation naturelle

Correlation analysis results : A. Effect of millet composition of the landscape on the frequency of pearl millet infested with larvae ; B. Effect of distance to the village according to the frequency of infested ears (larvae) ; C. Precocious effect in relation to the distribution of average spawning per ear and per plot ; D. Effect of natural vegetation density on natural control potential

Dégâts et pertes en grains causés par la mineuse *H. albipunctella*

Environ 80 % des épis d'une parcelle présentent des dégâts dus à la mineuse de l'épi du mil *H. albipunctella* variant de 48 à 98 % selon les parcelles (Figure 8). Nous avons constaté aussi

qu'il y a davantage de dégâts sur les parcelles à semis tardif. Le nombre de galeries par épi varie de 1 à 11, avec une longueur totale des galeries allant de 1 à 44 cm. Pour ce qui est des dommages, les pertes moyennes en grains sont estimées à 10,6 % avec un minimum de 3,8 % et un maximum de 17,2 % (Tableau 3).

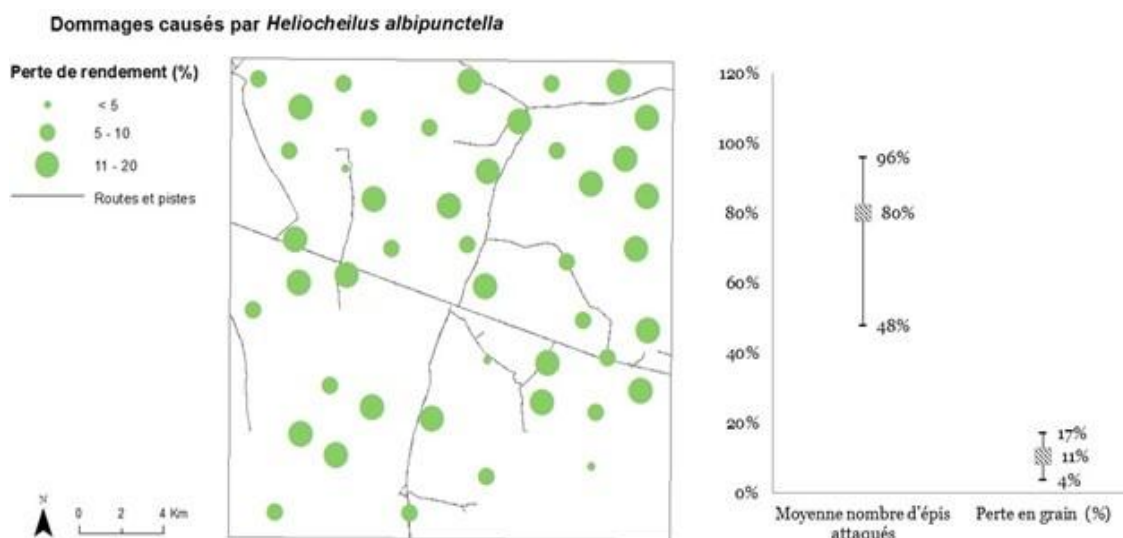


Figure 8 : Carte de distribution spatiale des moyennes de perte en grains dus à *Heliocheilus albipunctella* en 2013

Distribution map of the mean grain loss due to Heliocheilus albipunctella in 2013

Tableau 3 : Dégâts et pertes en grain dus à *Heliocheilus albipunctella*

Damage and grain losses due to Heliocheilus albipunctella

Paramètres calculés	Minimum	Moyenne	Maximum	N
Nombre d'épis attaqués	0,48	0,80	0,96	2160
Perte en grain (%)	3,8	10,6	17,2	2160
Nombre de galeries par épi	1	2	11	2160
Longueur de galeries par épi (cm)	1	9,37	44	2160

DISCUSSION

ABONDANCE ET DISTRIBUTION DE *H. albipunctella*

Les taux d'infestation (œufs et larves) des épis de mil enregistrés dans la zone d'étude confirment la forte présence du ravageur *H. albipunctella* avec une distribution assez hétérogène entre parcelle, probablement liée à la variabilité des facteurs environnementaux du paysage agricole (pluviométrie, nature du sol, densité des cultures, densité de la végétation naturelle, régulation écologique, comportement de dispersion du ravageur et de leurs ennemis naturels associés etc.). Les résultats de l'étude montrent que la densité des poquets n'a aucun effet sur la ponte chez les femelles de *H.*

albipunctella qui a lieu au stade de floraison avec une préférence en 2013 nettement significative pour les épis à initiation florale. Par conséquent, on peut supposer que cette préférence de ponte serait essentiellement due à la coïncidence entre stade phénologique favorable de la plante et le pic d'abondance du ravageur. Ce résultat est similaire à ceux de nombreux auteurs (Gahukar *et al.*, 1986 ; Mbaye, 1993 ; Nwanze et Youm, 1993 ; Dioulla, 2009). L'hypothèse émise par certains auteurs (Gahukar, 1988 ; Youm et Gilstrap, 1993), selon laquelle les semis précoces sont plus attaqués que les semis tardifs, ne corrobore pas avec nos résultats et ceux de Nwanze et Harris (1992) qui indiquent un fort taux d'infestation sur les parcelles à semis tardif. Ceci pourrait s'expliquer non seulement par un décalage du pic d'émergence des adultes intervenus généralement au mois

d'août et causé par un retard des pluies constaté dans la zone (fin juin), mais aussi par une concentration des ressources sur les quelques parcelles levées tardivement. Nwanze et Harris (1992) avaient mentionné qu'un retard dans l'arrivée des pluies ou d'un début de saison sèche prolongé peut entraîner un changement ou une interruption de l'émergence des papillons.

Le faible taux d'émergence d'adultes observé (3 %) montre qu'une partie de la population de chrysalides n'entre toujours pas en diapause et pourrait émerger en donnant une seconde génération, qui serait à l'origine d'une nouvelle infestation des champs. Ceci conforte les travaux de Nwanze et Youm (1993) qui rapportent avoir collecté des œufs pendant le stade laiteux (2,5 %). Selon les travaux de Ndoye (1988), 5 % des individus de *H. albipunctella* effectuent une deuxième génération en condition d'évolution normale.

Par conséquent, il pourrait y avoir plus d'une génération par année et donc l'étude de l'activité de vol de *H. albipunctella* sera nécessaire pour confirmer la validité de toutes ces observations. De plus, les fortes variabilités des niveaux d'infestation ovo-larvaire notées entre les parcelles traduisent l'importance et le profil des facteurs agissant sur l'abondance et la distribution du ravageur aux échelles de la parcelle au paysage agricole. Ceci est conforté par les résultats d'analyse de corrélation, qui indiquent que la fréquence des épis infestés (larves) est fortement corrélée avec la composition en mil du paysage et la distance au village. Un effet de densité de la végétation naturelle par rapport au taux de régulation est noté.

DEGATS ET PERTES EN GRAINS DUS A LA MINEUSE DE L'EPI DU MIL

Le résultat obtenu à partir des relations allométriques sur la perte en grains (10 % en moyenne) est relativement faible, comparé à la fréquence des épis attaqués qui s'élève en moyenne à 80 %. Cette méthode serait en adéquation avec la relation établie par Krall *et al.* (1993). Ces auteurs avaient corrélé le taux de perte en fonction du nombre de larves : les pertes étaient de 3,5 % avec un niveau d'infestation de 1 - 2 larves par épi, 20,7 % pour 3 - 4 larves, 34,5 % pour 5 larves par épi et 46,8 % pour plus de 5 larves par épi. Cependant, nos résultats cadrent avec les données publiées par certains auteurs (Gahukar *et al.*, 1986 ; Bal, 1992) sur l'estimation des

dégâts causés par la chenille mineuse de l'épi du mil. D'autres études seraient nécessaires pour pouvoir mesurer l'importance des pertes de rendements.

La bonne pluviométrie enregistrée dans la zone durant cette campagne (2001 mm entre juin-octobre 2013), pourrait contribuer à ce faible taux de perte en grains observé, car certains auteurs comme Gahukar *et al.* (1986), Mbaye (1993), Nwanze *et al.* (1995) et Owusu et Youm. (1998) stipulent que les dégâts dus à la chenille mineuse de l'épi du mil dépendraient également de l'action des pluies sur les épis et de la capacité des grains non-détruits à compenser les pertes.

POTENTIEL REEL DE REGULATION NATURELLE (BSI)

Le suivi des œufs au laboratoire a révélé un taux de parasitisme des œufs très faible (2 %) comparé aux travaux de Bal (1993), qui rapporte un taux de parasitisme des œufs de 60,3 % par Trichogrammatoidea, avec une augmentation à la fin du mois de septembre. Ce faible taux des œufs parasités associé au taux d'éclosion élevé (70 %) expliqueraient en partie les forts taux d'infestation en larves observés aux champs. A ceci s'ajoute un parasitisme des larves relativement faible (19 % en moyenne) et très variable entre les parcelles (0 à 94 %). Il est dominé par des Ichneumonidae (8,6 %), des Tachinidae (5,2 %), des Braconidae (1,5) et des morphotypes en cours de détermination (4,6 %). Ce faible taux de parasitisme dû à *Bracon sp* (1,5 %) est proche du taux de 2,8 % trouvé par Thiam et Van der Valk (1996) à Nioro du Rip. Par conséquent, on peut supposer que cette diversité d'espèces d'endoparasitoïdes pourrait contribuer à réduire la population résiduelle, qui est à l'origine de l'infestation de l'année suivante. La méthode adoptée ici pour l'estimation du parasitisme des larves n'est pas optimale car elle ne permet pas de connaître exactement le parasitisme associé à chaque larve prise individuellement. Par exemple, pour le cas de *Bracon sp*, plusieurs individus de ce parasitoïde peuvent se développer sur une seule larve d'*H. albipunctella*. Néanmoins, cette méthode nous a surtout permis d'avoir une idée sur les quelques espèces parasitoïdes présentes dans la zone pour envisager la mise au point d'une méthode d'élevage individuel des larves sur un milieu synthétique.

Ces résultats ont mis en évidence un véritable

potentiel de régulation naturelle du ravageur dans la zone. L'impact de la régulation naturelle observé (59 %), comparé au faible taux de parasitisme obtenu, montre l'importance probable des ennemis naturels dans la régulation écologique du ravageur. La variabilité considérable enregistrée entre parcelles porte toute son importance sur une bonne connaissance des facteurs qui sont à l'origine de cette régulation à l'échelle locale et à celle du paysage. Le rôle de la végétation naturelle environnante de la parcelle, et en particulier la densité d'*Acacia albida* comme habitat potentiel et source de nourriture pour les adultes de *Habracon hebetor* a été relevé par Nwanze et Youm (1995) et Rusch et al. (2013).

CONCLUSION

Au Sénégal, la mineuse de l'épi de mil, *Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera, Noctuidae) représente une contrainte majeure à l'intensification de la production de mil. Pour préserver l'environnement ainsi que la santé humaine et animale, le renforcement des services de la biodiversité, comme la régulation naturelle des bioagresseurs de cultures est l'une des solutions alternatives pour aider les agriculteurs à accroître leur production.

Les résultats de cette étude montrent que l'utilisation des ennemis naturels constitue une composante majeure de la régulation des populations du ravageur *Heliocheilus albipunctella*. Il conviendra de préciser le rôle des ennemis naturels (réseaux trophiques), et d'autres facteurs (effet mécanique de la pluie, etc.), pour expliquer la régulation naturelle observée, et optimiser le contrôle biologique de la mineuse de l'épi de mil dans les agroécosystèmes sahéliens. De plus, il sera nécessaire de préciser aussi l'effet des pratiques culturales et du contexte paysager sur l'abondance des populations du ravageur et les dégâts occasionnés, en vue d'améliorer le contrôle de la mineuse de l'épi de mil dans les agroécosystèmes sahéliens. La suite du travail consistera donc à étudier les relations entre abondance du ravageur, régulation naturelle et composition et configuration du paysage

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le PPAAO/WAAP pour le financement de ce projet RECOR. Nos vifs remerciements au CORAF/WECARD pour son soutien à la rédaction scientifique de cette publication. Grand Merci aux consultants, Pr Antony Youdeowei, et Pr Kaku Sagary Nokoé pour leur critique et suggestion.

REFERENCES

- Bal A.B. 1992. Les principaux insectes du mil au Sénégal : importance du parasitisme et méthodes de lutte [*Acigona ignefusalis*, *Heliocheilus albipunctella*]. In : *Séminaire sur la Lutte Intégrée contre les Ennemis des Cultures Vivrières dans le Sahel. Bamako (Mali)*. pp 4 - 9.
- Bal A.B. 1993. Etude du parasitisme naturel d'*Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera : Noctuidae) par *Trichogrammatoidea* sp. (Hymenoptère : Trichogrammatidae) à Bambey. *Insect Science and its Application* 14 : 221 - 221.
- Baoua B.I., Ba M.N., N'diaye M., Dabire-Binso C., Tamo M., Aminou A.M. 2009. Projet de gestion intégrée de la mineuse de l'épi du mil. Bilan 2006/2008. Mali, Burkina Faso, Niger : IER/INERA/INRAN/ITA, 28p.
- Billand C. 2013. Systèmes agroforestiers en zone sèche et régulation naturelle des insectes ravageurs des cultures. Analyse paysagère à partir d'une image satellite pour la mise au point d'un protocole d'échantillonnage dans la région de Dangalma au Sénégal. 2013. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur Agroparistech, 164 p.
- Burel F., Lavigne C., Marshall E.J.P., Moonen A.C., Ouin A., Poggio S.L. 2013. Landscape ecology and biodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166 : 1 - 2
- Buttoud G. 1994. Les systèmes agroforestiers dans les pays en développement/ : quels enseignements? (Numéro spécial), pp 152 - 164
- Chaplin-Kramer R., Kremen C. 2012. Pest Control Experiments Show Benefits of Complexity at Landscape and Local Scales. *Ecological Applications* 22 (7) : 1936 - 1948.

- Dabré E. E. 2008. Inventaire et importance des insectes ravageurs du mil, *Pennisetum glaucum* (Leek) R. Br. en zone sahélienne du Burkina Faso. Mémoire d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural. Burkina Faso : Université polytechnique de Bobo-Dioulasso. 35 p
- Dioulla H. 2009. Préférence de site de ponte de *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera, Braconidae), ectoparasitoïde de *Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera, Noctuidae) au laboratoire de la Direction de la Protection des Végétaux (DPV). Mémoire d'étude pour l'obtention du Diplôme de Technicien du développement rural IPDR/KOLLO. Niamey, 40 p.
- Gahukar R.T., Guevremont H., Bhatnagar V.S., Doumbia Y.O., Ndoye M. Pierrard G. 1986. A review of the pest status of the millet spike worm, *Rhagotha allipunctella* de Joannis (Noctuidae, Lépidoptère) and its management in the Sahel. *International Journal of Pest Management* 7 (4) : 457 - 463.
- Gahukar R.T. 1988. Insect Pests of pearl millet in West Africa : a review. *International Journal of Pest Management* 30 (2) : 142 - 147.
- Krall S., Youm O., Kogo S. 1995. Panicle insect pest damage and yield loss in pearl millet. Nwanze K.F., Youm O. (eds). In : Panicle Insect Pests of Sorghum and Pearl Millet: *Proceedings of an International Consultative Workshop*. 4 - 7 Oct. 1993. ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger, pp 135 - 145.
- Mbaye D.F. 1993. Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel : Etat des connaissances et perspectives. Séminaire International sur la lutte intégrée, CLSS. Niamey (Niger), 13p.
- Milleville P. 2007. Une agronomie à l'œuvre/ : Pratiques paysannes dans les campagnes du Sud. Editions Quae. Versailles, Paris : Editions Arguments, 105 p.
- Monteiro L.B., Lavigne C., Ricci B., Franck P., Toubon J-F., Sauphanor B. 2013. Predation of codling moth eggs is affected by pest management practices at orchard and landscape levels. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166 : 86 - 93.
- Ndiaye A., Fofana A., Ndiaye M., Mbaye D.F., Sène M., Mbaye I., Chantreau J. 2005. Les céréales : le mil. In : Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal 1964 - 2004. France : Ministère français des Affaires étrangères. 241 - 256 pp.
- Ndoye M. 1988. Biologie et dynamique des populations de *Heliocheilus albipunctella* de Joannis, (Lepidoptera : Noctuidae) ravageur de la chandelle de mil dans le sahel, pp. p 24 - 33.
- Nwanze K.F., Youm O. 1995. Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an international consultative workshop, 4 - 7 Oct. 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger. In : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. pp 103 - 113.
- Owusu, Youm O. 1998. Assessment of yield loss due to the millet head miner, *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: noctuidae) using a damage rating scale and regression analysis in Niger. *International journal of pest management* 44 : 119 - 121.
- Payne W., Tapsoba H., Baoua B.I., Ba M.N., Ndiaye M., Dabire-Binso C. 2011. On-farm biological control of the pearl millet head miner: realization of 35 years of unsteady progress in Mali, Burkina Faso and Niger. *International Journal of Agricultural Sustainability* 9 (1) : 186 - 193.
- Peltier R. 1996. Parcs à Faïdherbia. Cirad-Forêt. Montpellier (France). *Cahier scientifique, Afrique-Peltier* 12, 297.
- Rusch A., Valantin-Morison M., Sarthou J.P., Roger-Estrade J. 2013. Effect of crop management and landscape context on insect pest populations and crop damage. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166 : 118 - 125. doi : 10.1016/j.agee.2011.05.004.
- Thiam A., van der Valk H. 1996. Impact potentiel d'insecticides sur la mortalité naturelle de la chenille mineuse de l'épi de mil (*Heliocheilus albipunctella*): une étude de la table de survie. Dakar : FAO.
- Vercambre B. 1978. *Rhagotha spp. et Masalia sp.*, chenilles des chandelles du mil en zone sahélienne. *Agronomie Tropicale* 33 : 62 - 79.
- Veres A., Petit S., Conord C., Lavigne C. 2013. Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166 : 110 - 117.
- Woltz M.J., Rufus I., Douglas A.L. 2012. Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, ecosystems and environment* 152 : 40 - 49.
- Youm O., Gilstrap F.E. 1993. Population dynamics and parasitism of *Coniesta* (Haimbachia) *ignefusalis*, *Sesamia calamistis*, and *Heliocheilus albipunctella* in millet monoculture. *Insect Science and its Application* 14 (4) : 419 - 426.